

## Beschreibung

### Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage und dafür geeignete Gasturbinenanlage

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 sowie auf eine dafür geeignete Gasturbinenanlage gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 5.

Aufgrund intensiver Entwicklungsarbeiten in den letzten Jahren lassen sich mit Gasturbinen heute Wirkungsgrade, d.h. die erzeugbare elektrische oder mechanische Leistung im Verhältnis zu den eingesetzten Brennstoffen, von ca. 40 % erzielen. Gas- und Dampfturbinenanlagen (GuD-Anlagen), wie sie z.B. aus der EP 0898 641 A1 bekannt sind, ermöglichen darüber hinaus Wirkungsgrade von über 55%. Trotzdem besteht ein Bedarf, den Wirkungsgrad solcher Anlagen weiter zu erhöhen.

Dies gilt insbesondere für in der Vergangenheit errichtete Gasturbinenanlagen ohne Dampferzeugung sowie GuD-Anlagen, die in kleinen, mittleren und großen Leistungsbereichen errichtet wurden. Teilweise werden bzw. wurden solche GuD-Anlagen zur Verbesserung der Brennstoffausnutzung mit Fernwärmeauskoppelung versehen. Trotzdem weisen diese älteren Anlagen wesentlich geringere Wirkungsgrade auf als moderne Gasturbinenanlagen. Aufgrund enormen Kostendruckes sind deshalb insbesondere die Betreiber von Altanlagen mit geringen Wirkungsgraden dazu gezwungen, die Wirtschaftlichkeit ihrer Anlagen zu verbessern.

Die Betreiber von Gasturbinenanlagen ohne Dampferzeugung erweitern deshalb teilweise ihren Prozess bzw. ihre Anlage um einen Dampferzeugungsanteil. Durch die hierdurch mögliche zusätzliche Erzeugung von elektrischer oder mechanischer Energie erreichen sie eine bessere Ausnutzung der eingesetzten Brennstoffe und damit eine Verbesserung des Wirkungsgrades

## 2

der Anlage. Es ist allerdings für die Betreiber solcher Anlagen wünschenswert, den Wirkungsgrad ihrer Gasturbinenanlagen noch weiter zu verbessern. Insbesondere sollte eine solche Wirkungsgraderhöhung auch bei bestehenden Gasturbinenanlagen bzw. GuD-Anlagen realisiert werden können.

Es ist deshalb Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage sowie eine dafür geeignete Gasturbinenanlage anzugeben, die eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Anlage ermöglichen, wobei die Erhöhung des Wirkungsgrades bei bereits bestehenden Anlagen mit geringem Aufwand, insbesondere ohne große Eingriffe in die bereits bestehende Anlage, möglich sein soll.

Die Lösung der auf das Verfahren gerichteten Aufgabe gelingt durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 6. Die Lösung der auf die Gasturbinenanlage gerichteten Aufgabe gelingt durch eine Gasturbinenanlage gemäß Patentanspruch 7. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Gasturbinenanlage sind Gegenstand der Unteransprüche 8 bis 17.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass viele Gasturbinen oder GuD-Anlagen Abgase (z.B. Rauchgase) mit Temperaturen von über 100°C aufweisen. Dies bedeutet, dass diese Anlagen in den Abgasen enthaltene, noch verwertbare Restwärme nicht nutzen. Dies hat hohe Abgaswärmeverluste und damit hohe Betriebskosten zur Folge. Insbesondere viele GuD-Anlagen werden mit Abgastemperaturen von 120 °C bis 150 °C betrieben, da niedrigere Abgastemperaturen nur mit einem hohen Aufwand realisiert werden können.

Eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Gasturbinenanlage ist somit dadurch möglich, dass zumindest ein Teil der Wärme der Abgase einer Gasturbine noch weiter genutzt wird. Dies ist dadurch möglich, dass die Wärme der Abgase an ein zumindest zwei Stoffe mit nicht isothermer Verdampfung und Konden-

sation aufweisendes Arbeitsmittel eines thermodynamischen Kreisprozesses übertragen wird. Mit Hilfe eines solchen Kreisprozesses kann bei hohem Wirkungsgrad unter Absenkung der Abgastemperatur auf bis zu 50 bis 70 °C mechanische oder elektrische Leistung erzeugt werden, die zur Verbesserung des Wirkungsgrades der Gasturbinenanlage beiträgt und somit die Wirtschaftlichkeit der Anlage verbessert.

Eine erfindungsgemäße Turbinenanlage weist deshalb zumindest einen einer Gasturbine abgasseitig nachgeschalteten Wärmetauscher auf, der in eine Vorrichtung zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses geschaltet ist, wobei die Vorrichtung ein Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation aufweist.

Zur Verbesserung des Wirkungsgrades bei bestehenden Anlagen muss somit nur der zumindest eine nachgeschaltete Wärmetauscher und die Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses nachgerüstet werden. Dies kann bei bestehenden Gasturbinenanlagen z.B. im Rahmen einer Erweiterung zu einer GuD-Anlage erfolgen. Auch bei bestehenden Gasturbinenanlagen in Kombination mit Dampferzeugung (d.h. Nachverbrennung der Gasturbinenabgase in einem Dampferzeuger) und bei GuD-Anlagen mit Rauchgastemperaturen größer 100 °C kann die Restwärme der Abgase durch eine einfache Nachrüstung der Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses zur Erzeugung elektrischer oder mechanischer Leistung genutzt werden. Bei gleicher Brennstoffmenge ist somit eine höhere elektrische oder mechanische Leistung und damit ein höherer Wirkungsgrad der Gasturbinenanlage möglich. Weiterhin führt dies zu einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes je erzeugter Kilowattstunde elektrischer Energie.

Bei Gasturbinenanlagen in Kombination mit Dampferzeugung sowie bei GuD-Anlagen ist die Wirkungsgraderhöhung ohne Eingriff in die Hauptanlage möglich, da lediglich abgasseitig, d.h. im Abgasstrang der Gasturbinenanlage, der zumindest eine

zusätzliche Wärmetauscher installiert werden muss. Die Nachrüstung des zumindest einen Wärmetauschers sowie der Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses ist daher im Rahmen einer Revision der Hauptanlage mit geringem Aufwand möglich.

Durch die Verwendung eines Arbeitsmittels mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation kann zum einen über die Konzentration der zumindest zwei Stoffe und zum anderen durch geringfügige Anpassungen des Druckes und der Temperatur des Arbeitsmittels der thermodynamische Kreisprozess auf einfache Weise an verschiedene Gasturbinenanlagen mit unterschiedlichen Abgastemperaturen angepasst werden.

Die Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses ist deshalb bevorzugt als standardisierte Einheit ausgebildet, die für die Verwendung in unterschiedlichsten Gasturbinenlagen geeignet ist und somit kostengünstig gestaltet werden kann.

Ein hoher Wirkungsgrad und gleichzeitig eine einfache Anpassbarkeit des Prozesses bzw. der Vorrichtung zur Ausführung des Prozesses an unterschiedliche Abgastemperaturen kann dadurch ermöglicht werden, dass als thermodynamischer Kreisprozess ein Kalina-Kreislauf verwendet wird, der z.B. aus dem Aufsatz von Köhler, S. und Saadat, A. "Möglichkeiten und Perspektiven der geothermischen Stromerzeugung" in Geothermische Technologieentwicklung - geologische und energietechnische Ansatzpunkte; GeoForschungszentrum Potsdam, STR00/23, 2000, pp. 7 - 28 bekannt ist. Dieser Kreislauf verwendet als Arbeitsmittel ein Zweistoffgemisch z.B. aus Ammoniak und Wasser, wobei das Wasser als Lösungsmittel dient.

Gemäß einer insbesondere für Abgastemperaturen von 140°C bis 200°C geeigneten Ausgestaltung der Erfindung wird der thermo-

## 5

dynamische Kreisprozess mit einem Verfahren ausgeführt, das zumindest die folgenden Schritte aufweist:

- Pumpen eines flüssigen Stromes des Arbeitsmittels auf einen erhöhten Druck;
- Aufteilen des druckbeaufschlagten, flüssigen Arbeitsmittelstromes in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom;
- teilweises Verdampfen des ersten Teilstroms unter Verwendung von Wärme, die durch Abkühlung der Abgase erzeugt wird;
- teilweises Verdampfen des zweiten Teilstroms unter Verwendung von Wärme, die durch teilweise Kondensation eines entspannten Arbeitsmittelstromes erzeugt wird;
- Vereinigen des teilweise verdampften ersten und zweiten Teilstroms zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom;
- Erzeugen eines gasförmigen Arbeitsmittelstromes durch vollständiges Verdampfen, ggfs. teilweises Überhitzen, des teilweise verdampften Arbeitsmittelstromes unter Verwendung von Wärme, die aus der Abkühlung der Abgase erzeugt wird,
- Entspannen des gasförmigen Arbeitsmittelstromes, Umwandeln seiner Energie in eine nutzbare Form und Erzeugen des entspannten Arbeitsmittelstromes; und
- Kondensation des teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes zur Bildung des flüssigen Arbeitsmittelstromes.

Der Wirkungsgrad der Vorrichtung und damit der Gasturbinenanlage kann hierbei noch dadurch verbessert werden, dass der erste Teilstrom und der flüssige Arbeitsmittelstrom im Wesentlichen die gleiche Temperatur aufweisen und somit eine bestmögliche Ausnutzung der Wärme der Abgase zur Stromerzeugung ermöglichen.

Ein hoher Wirkungsgrad des thermodynamischen Kreisprozesses, d.h. eine gute Umwandlung der in den Abgasen enthaltenen Wärme in elektrische oder mechanische Leistung ist insbesondere

dann möglich, wenn die Abgase der Gasturbine an dem zumindest einen Wärmetauscher eine Temperatur von 100 bis 200°C, insbesondere 140 bis 200°C, aufweisen.

Die Erfindung, sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gemäß Merkmalen der Unteransprüche, werden im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels in den Figuren näher erläutert; darin zeigen

FIG 1 eine schematische Darstellung einer GuD-Anlage mit einem abgasseitig nachgeschalteten Wärmetauscher zur Wärmeübertragung an eine Vorrichtung zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses mit einem Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation in schematischer Darstellung,

FIG 2 eine vereinfachte Schaltung einer vorteilhaften Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses,

FIG 3 ein Beispiel für eine Ausbildung der Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses als standardisierte Einheit.

Die Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Gas- und Dampfturbinenanlage 1 mit einer Gasturbine 2 und einen von heißen Abgasen AG der Gasturbine 2 durchströmten Abhitzekessel 3. Die Gasturbine wird mit einem offenen Gasturbinenprozeß betrieben.

In einem Abluftkamin 6 der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 sind zwei Wärmetauscher HE4, HE5 zur Übertragung von zumindest einem Teil der Wärme der Abgase AG an eine vereinfacht dargestellte Vorrichtung 9 zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses mit einem Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensati-

on. Bei dem thermodynamischen Kreisprozess handelt es sich z.B um einen Kalinakreislauf.

Abgasseitig sind der Gasturbine und den Wärmetauschern HE4 und HE5 drei Wärmetauscher 5a, 5b, 5c des Wasser/Dampf-kreislaufes 4 der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 zwischengeschaltet. Die Wärmetauscher 5a, 5b, 5c sind in dem Abhitze-kessel 3 angeordnet und übertragen einen Teil der Wärme der Abgase AG an den Wasser/Dampfkreislauf 4.

Mit Hilfe der Vorrichtung 9 kann die in den Abgasen AG enthaltene Restwärme zur zusätzlichen Stromerzeugung genutzt werden und somit der Wirkungsgrad der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 vergrößert werden. Die durch die Nachschaltung der Vorrichtung 9 verursachten Druckverluste in den Abgasen AG, die zu Leistungsverlusten in der Gasturbine 2 führen, können mehr als kompensiert werden durch die Leistungsgewinne durch die Vorrichtung 9.

Eine besonders gute Wärmeübertragung von den Abgasen AG an das Arbeitsmittel der Vorrichtung 9 ist dann möglich, wenn die Wärmetauscher HE4, HE5 als Rohrbündelwärmetauscher ausgebildet sind.

Die Anordnung der Wärmetauscher HE4 und HE5 in dem Abluftkamin 6 ermöglicht es, diese Wärmetauscher und die daran angeschlossene Vorrichtung 9 ohne Eingriffe in die Hauptanlage, d.h. die Gasturbine 2 samt zugehöriger Komponenten und den Wasserdampfkreislauf 4, nachzurüsten. Die Temperatur der Abgase vor dem Wärmetauscher HE5 beträgt bevorzugt 100 bis 200 °C, insbesondere 140 bis 200 °C. Durch die Abkühlung der Abgase AG durch die Wärmetauscher HE5 und HE4 wird die Temperatur der Abgase beispielsweise auf 50 bis 70 °C nach dem Wärmetauscher HE 4 abgesenkt.

Die Figur 2 zeigt eine besonders für Abgastemperaturen von 140°C bis 200°C geeignete Schaltung der Vorrichtung 9 zur

Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses gemäß Figur 1.

Die Vorrichtung 9 weist einen Wärmetauscher HE5 auf, der primärseitig von den Abgasen (Rauchgasen) AG einer Gasturbine durchströmt wird und sekundärseitig zum einen mit einem Mischer 35 und zum anderen mit einer Turbine 32 verbunden ist. Die Turbine 32 ist ausgangsseitig mit der Sekundärseite eines Wärmetauschers HE2 verbunden, welcher wiederum mit der Primärseite eines Wärmetauschers (Kondensators) HE1 verbunden ist. Der Kondensator HE1 ist an seinem primärseitigen Ausgang, ggfs. über einen Kondensattank, über eine Pumpe 33 mit einem Teiler 34 verbunden. Der Teiler 34 ist zum einen über die Primärseite des Wärmetauschers HE2 und zum anderen über die Sekundärseite eines Wärmetauschers HE4 mit dem Mischer 35 verbunden. Die Abgase AG durchströmen zuerst die Primärseite des Wärmetauschers HE5 und danach die Primärseite des Wärmetauschers HE4.

Als Arbeitsmittel wird in der Vorrichtung 9 ein Zweistoff-Gemisch aus Wasser und Ammoniak verwendet. Das Arbeitsmittel liegt nach dem Kondensator HE1 in einem flüssigen Zustand als flüssiger Arbeitsmittelstrom 13 vor. Mit Hilfe der Pumpe 33 wird der flüssige Arbeitsmittelstrom 13 auf einen erhöhten Druck gepumpt und ein druckbeaufschlagter, flüssiger Arbeitsmittelstrom 14 erzeugt, der durch den Teiler 34 in einen ersten Teilstrom 16 und einen zweiten Teilstrom 17 aufgeteilt wird.

Der erste Teilstrom 16 wird sekundärseitig von dem Wärmetauscher HE4 aufgenommen und unter Verwendung von Wärme, die durch Abkühlung der bereits in dem Wärmetauscher HE5 abgekühlten Abgase AG erzeugt wird, teilweise verdampft und ein teilweise verdampfter erster Teilstrom 16a erzeugt. Der zweite Teilstrom 17 wird primärseitig von dem Wärmetauscher HE2 aufgenommen und unter Verwendung von Wärme, die durch teilweise Kondensation eines sekundärseitig aufgenommenen ent-



spannten Arbeitsmittelstromes 11 erzeugt wird, teilweise verdampft und ein teilweise verdampfter zweiter Teilstrom 17a erzeugt. Die teilweise verdampften ersten und zweiten Teilströme 16a, 17a werden anschließend in dem Mischer 35 zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom 18 vereinigt. Die Wärmetauscher HE2 und HE4 sind hierbei vorteilhafterweise so dimensioniert, dass der erste und der zweite teilweise verdampfte Teilstrom 16a bzw. 17a in etwa gleiche Temperatur und gleichen Dampfgehalt aufweisen.

Der teilweise verdampfte Arbeitsmittelstrom 18 wird anschließend sekundärseitig von dem Wärmetauscher HE5 aufgenommen und durch Abkühlung der primärseitigen Abgase AG ein vollständig verdampfter, gegebenenfalls teilweise überhitzter, gasförmiger Arbeitsmittelstrom 10 erzeugt. Der gasförmige Arbeitsmittelstrom 10 wird anschließend in der Turbine 32 entspannt, seine Energie in eine nutzbare Form, z.B. über einen nicht dargestellten Generator in Strom, umgewandelt und der entspannte Arbeitsmittelstrom 11 erzeugt. Der entspannte Arbeitsmittelstrom 11 wird in dem Wärmetauscher HE2 teilkondensiert und ein teilkondensierter, entspannter Arbeitsmittelstrom 12 erzeugt. Der teilkondensierte, entspannte Arbeitsmittelstrom 12 wird anschließend in dem Wärmetauscher (Kondensator) HE1 mit Hilfe eines zulaufenden Kühlwasserstromes 25 kondensiert und der flüssige Arbeitsmittelstrom 13 erzeugt. Die durch die Kondensation des entspannten Arbeitsmittelstrom 12 an den Kühlwasserstrom 25 übertragene Wärme wird durch den ablaufenden Kühlwasserstrom 26 abgeführt.

Der druckbeaufschlagte, flüssige Teilstrom 14 kann über einen weiteren, nicht dargestellten Wärmetauscher durch weitere, teilweise Kondensation des bereits in dem Wärmetauscher HE2 teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes 12 vorerwärmt werden.

Eine besonders gute Ausnutzung der Wärme der Abgase und somit ein besonders hoher Wirkungsgrad des Kreislaufes ist aller-

dings dadurch erzielbar, dass auf diese Vorerwärmung verzichtet wird und somit der erste Teilstrom 16 im wesentlichen die gleiche Temperatur wie der flüssige Arbeitsmittelstrom 13 aufweist.

Die Vorrichtung 9 ist hierbei, wie beispielhaft und vereinfacht in FIG3 dargestellt, bevorzugt als standardisierte Einheit 40 ausgebildet. Die standardisierte Einheit 40 umfasst dabei zum einen ein Kreislaufmodul 41, welches sämtliche Komponenten des Kreislaufes mit Ausnahme der Wärmetauscher HE4 und HE5 enthält. Zu diesen Komponenten zählen der Wärmetauscher (Kondensator) HE1, der Wärmetauscher HE2, die Turbine 32, die Pumpe 33, ein mit der Turbine verbundenen Generator und weitere, für die Steuerung, Regelung und Überwachung des Kreislaufes notwendige Einrichtungen.

Die Wärmetauscher HE4 und HE5 sind in einem Wärmetauschermodul 42 angeordnet, welches z.B. in einem Abluftkamin einer Gasturbinenanlage eingebaut werden kann.

Das Kreislaufmodul 41 weist Rohrleitungs-Anschlusspaare 43 und 44 für den Anschluss von Verbindungsrohren zu entsprechenden Rohrleitungs-Anschlusspaaren 43' und 44' an dem Wärmetauschermodul 42 auf. Weiterhin weist das Kreislaufmodul 41 Rohrleitungs-Anschlüsse 45 für die Zuführung und Abführung von Kühlwasser zu bzw. von dem Wärmetauscher (Kondensator) HE1 auf. Mittels der elektrischen Anschlüsse 46 kann der Abgriff des durch das Kreislaufmodul 41 erzeugten Stromes erfolgen. Die elektrischen Anschlüsse 47 dienen der Zuführung von Strom für die Stromversorgung der Einrichtungen zur Steuerung, Regelung, Überwachung des Kreislaufmoduls sowie zur Stromversorgung der Pumpe 3. Eine solche externe Stromversorgung wird zumindest solange benötigt, bis der Stromeigenbedarf durch das Kreislaufmodul 41 selbst gedeckt werden kann. Alternativ kann der Eigenbedarf statt durch eine externe Stromversorgung auch dadurch gedeckt werden, dass das Kreislaufmodul 41 eine Batterie aufweist. Über ein Bedienelement

51 kann die Konzentration der Bestandteile des Arbeitsmittels und über Bedienelemente 52 und 53 kann die Temperatur bzw. der Druck des Arbeitsmittels im Kreislauf eingestellt werden.

Das Kreislaufmodul 41 weist bevorzugt Containerformat auf, insbesondere 20'- oder 40'- Containerformat, und kann somit per LKW, Bahn oder Schiff schnell und einfach zu seinem Einsatzort gebracht werden, so dass eine Nachrüstung der Vorrichtung 9 zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses bei einer bestehenden GuD-Anlage mit geringem zeitlichem und finanziellem Aufwand durchgeführt werden kann.

Die Erfindung wurde vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben, kann generell aber nicht als auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt angesehen werden. Es besteht vielmehr die Möglichkeit einer Vielzahl von Variationen und Modifikationen der Erfindung bzw. dieser Ausführungsbeispiele. Zum Beispiel kann in der Vorrichtung 9 zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses die Anzahl der Wärmetauscher erhöht werden, es können zusätzliche Ventile und Separatoren in die Schaltung geschaltet werden. Weiterhin kann z.B. der gasförmige Arbeitsmittelstrom 10 in mehr als einem Schritt, z.B. über zwei hintereinander geschaltete Turbinen, entspannt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage (1), wobei zumindest ein Teil der Wärme der Abgase (AG) einer Gasturbine (2) an ein zumindest zwei Stoffe mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation aufweisendes Arbeitsmittel eines thermodynamischen Kreisprozesses übertragen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als thermodynamischer Kreisprozess ein Kalina-Kreislauf verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, wobei der thermodynamische Kreisprozess mit einem Verfahren ausgeführt wird, das zumindest die folgenden Schritte aufweist:

- Pumpen eines flüssigen Stromes (13) des Arbeitsmittels auf einen erhöhten Druck;
- Aufteilen des druckbeaufschlagten, flüssigen Arbeitsmittelstromes (14) in einen ersten Teilstrom (16) und einen zweiten Teilstrom (17);
- teilweises Verdampfen des ersten Teilstroms (16) unter Verwendung von Wärme, die durch Abkühlung der Abgase (AG) erzeugt wird;
- teilweises Verdampfen des zweiten Teilstroms (17) unter Verwendung von Wärme, die durch teilweise Kondensation eines entspannten Arbeitsmittelstromes (11) erzeugt wird;
- Vereinigen des teilweise verdampften ersten und zweiten Teilstroms (16a bzw. 16b) zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom (18);
- Erzeugen eines gasförmigen Arbeitsmittelstromes (10) durch vollständiges Verdampfen, ggfs. teilweises Überhitzen, des teilweise verdampften Arbeitsmittelstromes (18) unter Verwendung von Wärme, die aus der Abkühlung der Abgase (AG) erzeugt wird,

## 13

- Entspannen des gasförmigen Arbeitsmittelstromes (10), Umwandeln seiner Energie in eine nutzbare Form und Erzeugen des entspannten Arbeitsmittelstromes (11); und
- Vollständige Kondensation des teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes (12) zur Bildung des flüssigen Arbeitsmittelstromes (13).

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der erste Teilstrom (16) und der flüssige Arbeitsmittelstrom (13) im wesentlichen die gleiche Temperatur aufweisen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein weiterer Teil der Wärme der Abgase (AG) der Gasturbine (2) an einen Wasser-Dampf-Kreislauf (4) einer Dampfturbine übertragen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abgase (AG) der Gasturbine (2) vor dem zumindest einen Wärmetauscher (HE5) eine Temperatur von 100 bis 200°C, insbesondere 140 bis 200°C, aufweisen.

7. Gasturbinenanlage (1) mit zumindest einem einer Gasturbine (2) abgasseitig nachgeschalteten Wärmetauscher (HE5), der in eine Vorrichtung (9) zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses geschaltet ist, wobei die Vorrichtung (9) ein Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation aufweist.

8. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 7 wobei der thermodynamische Kreisprozeß ein Kalina-Kreislauf ist.

9. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 7 und/oder 8, wobei die Vorrichtung (9) zumindest umfasst:

- eine Pumpe (33) zum Pumpen eines flüssigen Stromes (13) des Arbeitsmittels auf einen erhöhten Druck;

## 14

- einen Teiler (34) zum Aufteilen des druckbeaufschlagten flüssigen Arbeitsmittelstromes (14) in einen ersten Teilstrom (16) und einen zweiten Teilstrom (17),;
- einen ersten Wärmetauscher (HE 4) zur Aufnahme des ersten Teilstromes (16) und zur Erzeugung und Abgabe eines teilweise verdampften ersten Teilstroms (16a) durch Abkühlung der Abgase (AG);
- einen zweiten Wärmetauscher (HE 2) zur Aufnahme eines entspannten Arbeitsmittelstromes (11) und des zweiten Teilstroms (17), zur Abkühlung des entspannten Arbeitsmittelstromes (11) durch Wärmeübertragung zu dem zweiten Teilstrom (17) und zur Abgabe eines teilweise verdampften zweiten Teilstroms (17a) und eines teilweise kondensierten Arbeitsmittelstromes (12);
- einen Mischer (35) zum Vereinigen des teilweise verdampften ersten Teilstromes (16a) und des teilweise verdampften zweiten Teilstromes (17a) zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom (18);
- einen dritten Wärmetauscher (HE5) zur Aufnahme des teilweise verdampften Arbeitsmittelstromes (18) und zur Erzeugung und Abgabe eines gasförmigen, ggfs. überhitzten, Arbeitsmittelstromes (10) durch Abkühlung der Abgase (AG),
- eine Einrichtung (32), insbesondere eine Turbine, zum Entspannen des gasförmigen Arbeitsmittelstromes (10), zum Umwandeln seiner Energie in eine nutzbare Form und zur Abgabe des entspannten Arbeitsmittelstromes (11); und
- einen vierten Wärmetauscher (Kondensator) (HE 1) zur Aufnahme und vollständigen Kondensation des teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes (12) und zur Abgabe des flüssigen Arbeitsmittelstromes (13).

## 10. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 9

wobei der erste Teilstrom (16) und der flüssige Arbeitsmittelstrom (13) im wesentlichen die gleiche Temperatur aufweisen.

## 11. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10,

## 15

wobei die Abgase (AG) der Gasturbine (2) vor dem zumindest einen Wärmetauscher (HE5) eine Temperatur von 100 bis 200°C, insbesondere 140 bis 200°C, aufweisen.

12. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, mit zumindest einem abgasseitig der Gasturbine (2) und dem zumindest einen Wärmetauscher (HE5) zwischengeschalteten weiteren Wärmetauscher (5a, 5b, 5c) eines Wasser-Dampf-Kreislaufes (4) einer Dampfturbine.

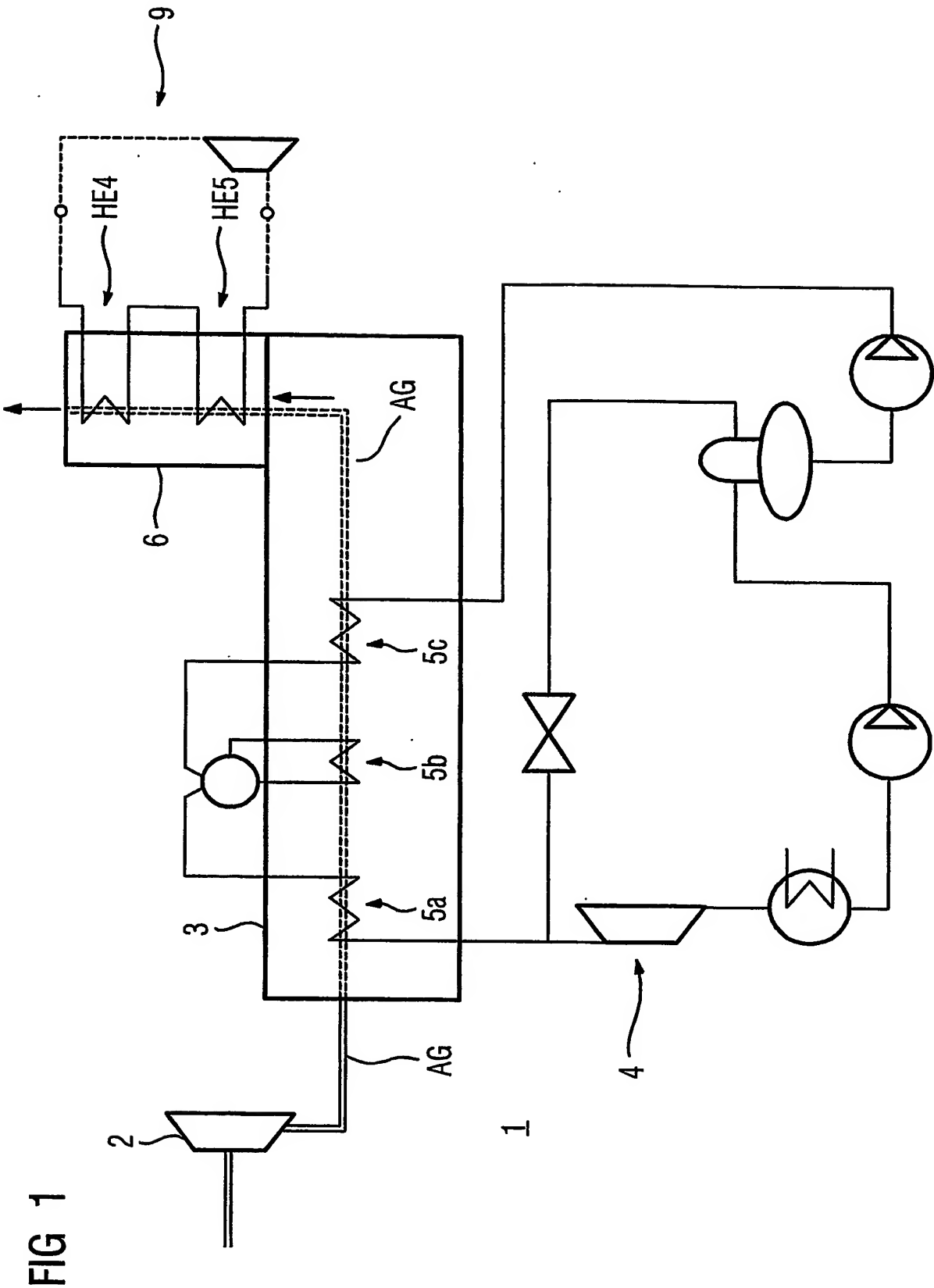
13. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 12, wobei der zumindest eine Wärmetauscher (HE 5) in einem Ab-luftkamin (6) der Gasturbinenanlage (1) angeordnet ist.

14. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 13, wobei der zumindest eine Wärmetauscher (HE5) als Rohrbündel-wärmetauscher ausgebildet ist.

15. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 14, wobei die Vorrichtung (9) zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses als standardisierte Einheit (40) ausgebildet ist.

16. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 15, wobei die standardisierte Einheit (40) ein Wärmetauschermodul (42) und ein Kreislaufmodul (41) aufweist.

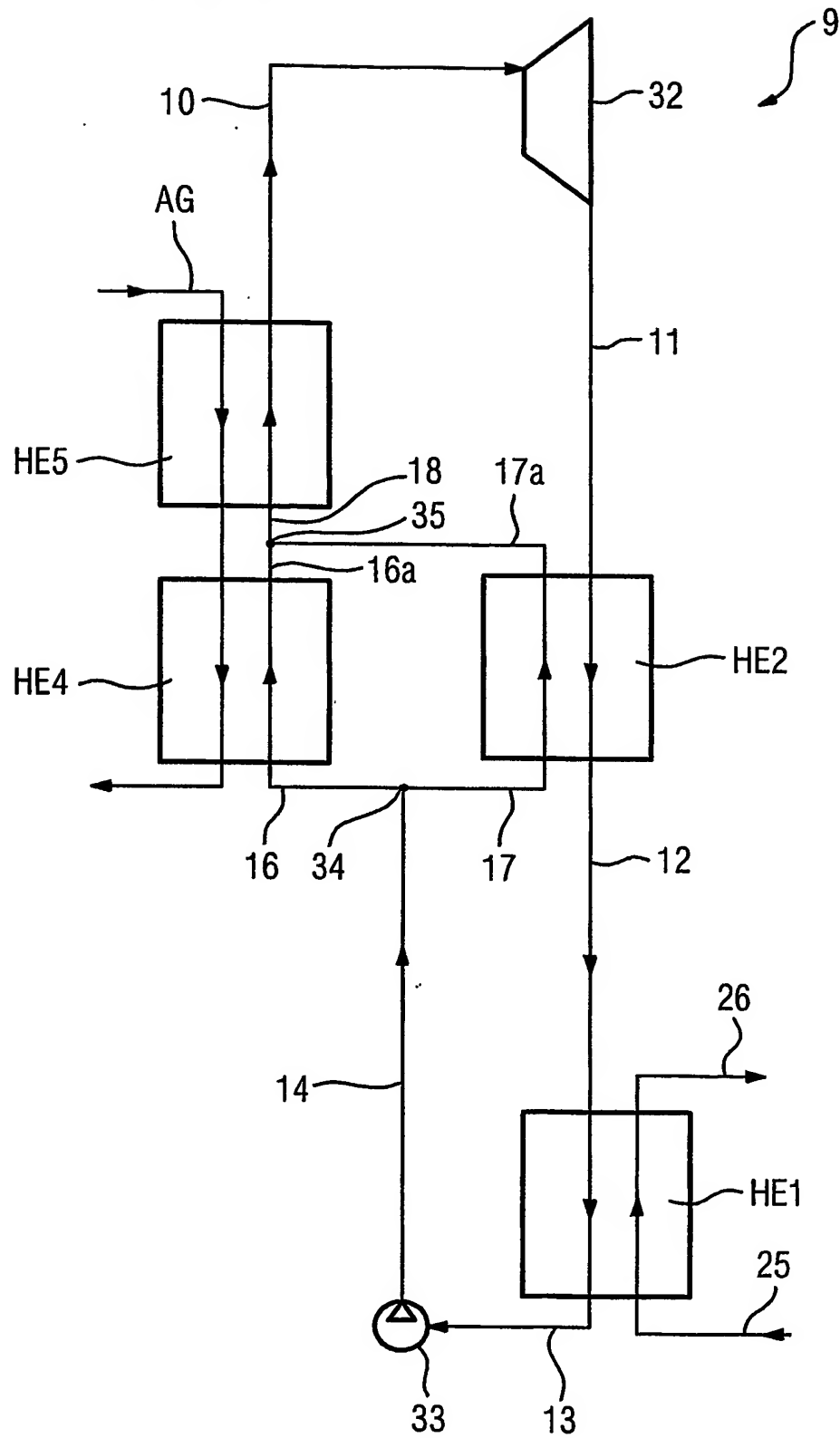
17. Gasturbinenanlage nach Anspruch 15 und/oder 16 wobei das Kreislaufmodul (42) Containerformat, insbesondere 20'- oder 40'- Containerformat, aufweist.

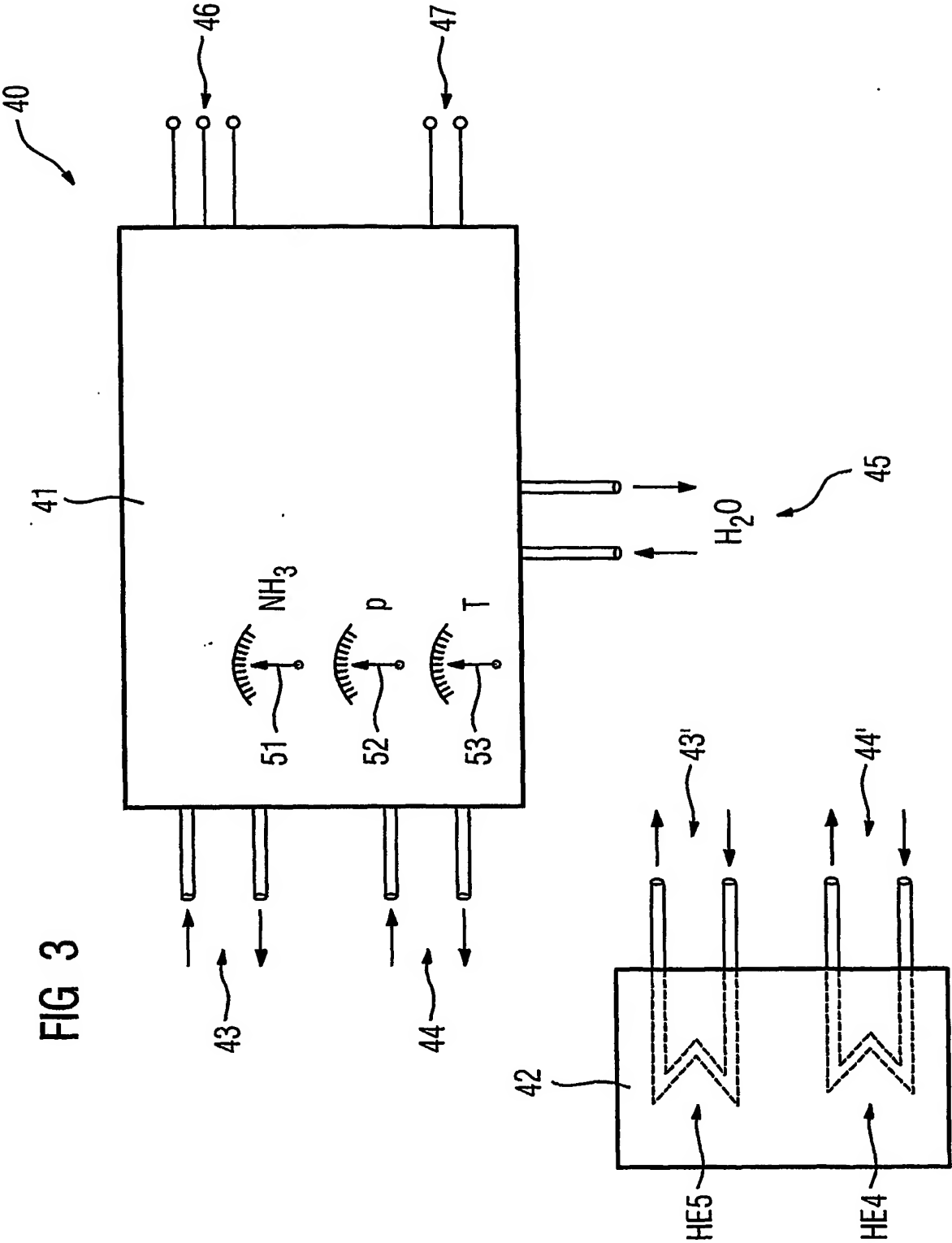




2 / 3

FIG 2





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/007385

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 F01K25/06 F01K23/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GAJEWSKI W ET AL: "DER KALINA-PROZESS" VGB KRAFTWERKSTECHNIK, VGB KRAFTWERKSTECHNIK GMBH. ESSEN, DE, vol. 69, no. 5, 1 May 1989 (1989-05-01), pages 477-483, XP000028691 ISSN: 0372-5715	1-12
Y	page 477 - page 481, paragraph 1; figure 4	3,4,6, 9-11
X	US 2002/053196 A1 (PELLETIER RICHARD ET AL) 9 May 2002 (2002-05-09)	1,2,7,8, 12-17
Y	paragraph '0011! - paragraph '0056!; figures abstract	3,4,6, 9-11
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 November 2004

Date of mailing of the international search report

08/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zerf, G

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/007385

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 952 316 A (GEN ELECTRIC) 27 October 1999 (1999-10-27)	1-3, 7-9
Y	paragraph '0010! - paragraph '0011!; figure 1	3, 4, 6, 9-11
X	US 6 216 436 B1 (ANAND ASHOK KUMAR ET AL) 17 April 2001 (2001-04-17)	1, 2, 7, 8
Y	column 3, line 65 - column 6, line 13; figure	3, 4, 6, 9-11
X	EP 0 949 406 A (GEN ELECTRIC) 13 October 1999 (1999-10-13)	1, 2, 7, 8
Y	paragraph '0011! - paragraph '0017!; figures abstract	3, 4, 6, 9-11
Y	EP 0 472 020 A (KALINA ALEXANDER IFAEVICH) 26 February 1992 (1992-02-26) the whole document	3, 4, 6, 9-11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No  
 PCT/EP2004/007385

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002053196	A1	09-05-2002	AU 2861402 A WO 0240916 A2	27-05-2002 23-05-2002
EP 0952316	A	27-10-1999	US 6058695 A EP 0952316 A2 JP 11324711 A TW 436580 B	09-05-2000 27-10-1999 26-11-1999 28-05-2001
US 6216436	B1	17-04-2001	WO 0157379 A1 JP 2003521629 T	09-08-2001 15-07-2003
EP 0949406	A	13-10-1999	US 6065280 A EP 0949406 A2 JP 11332294 A TW 449642 B	23-05-2000 13-10-1999 30-11-1999 11-08-2001
EP 0472020	A	26-02-1992	US 5029444 A AT 126566 T CN 1059014 A ,B DE 69112155 D1 DE 69112155 T2 DK 472020 T3 EP 0472020 A1 ES 2078396 T3 GR 3017789 T3 JP 2716606 B2 JP 6026441 A MX 9100666 A1 NZ 239143 A	09-07-1991 15-09-1995 26-02-1992 21-09-1995 04-01-1996 27-12-1995 26-02-1992 16-12-1995 31-01-1996 18-02-1998 01-02-1994 01-04-1992 23-12-1993

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007385

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 IPK 7 F01K25/06 F01K23/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F01K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GAJEWSKI W ET AL: "DER KALINA-PROZESS" VGB KRAFTWERKSTECHNIK, VGB KRAFTWERKSTECHNIK GMBH. ESSEN, DE, Bd. 69, Nr. 5, 1. Mai 1989 (1989-05-01), Seiten 477-483, XP000028691 ISSN: 0372-5715	1-12
Y	Seite 477 - Seite 481, Absatz 1; Abbildung 4	3,4,6, 9-11
X	US 2002/053196 A1 (PELLETIER RICHARD ET AL) 9. Mai 2002 (2002-05-09)	1,2,7,8, 12-17
Y	Absatz '0011! - Absatz '0056!; Abbildungen	3,4,6, 9-11
	Zusammenfassung	
	----- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. November 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/12/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Zerf, G

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007385

**C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 952 316 A (GEN ELECTRIC) 27. Oktober 1999 (1999-10-27)	1-3,7-9
Y	Absatz '0010! - Absatz '0011!; Abbildung 1 -----	3,4,6, 9-11
X	US 6 216 436 B1 (ANAND ASHOK KUMAR ET AL) 17. April 2001 (2001-04-17)	1,2,7,8
Y	Spalte 3, Zeile 65 - Spalte 6, Zeile 13; Abbildung -----	3,4,6, 9-11
X	EP 0 949 406 A (GEN ELECTRIC) 13. Oktober 1999 (1999-10-13)	1,2,7,8
Y	Absatz '0011! - Absatz '0017!; Abbildungen  Zusammenfassung -----	3,4,6, 9-11
Y	EP 0 472 020 A (KALINA ALEXANDER IFAEVICH) 26. Februar 1992 (1992-02-26) das ganze Dokument -----	3,4,6, 9-11

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007385

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2002053196	A1	09-05-2002	AU	2861402 A	27-05-2002
			WO	0240916 A2	23-05-2002
EP 0952316	A	27-10-1999	US	6058695 A	09-05-2000
			EP	0952316 A2	27-10-1999
			JP	11324711 A	26-11-1999
			TW	436580 B	28-05-2001
US 6216436	B1	17-04-2001	WO	0157379 A1	09-08-2001
			JP	2003521629 T	15-07-2003
EP 0949406	A	13-10-1999	US	6065280 A	23-05-2000
			EP	0949406 A2	13-10-1999
			JP	11332294 A	30-11-1999
			TW	449642 B	11-08-2001
EP 0472020	A	26-02-1992	US	5029444 A	09-07-1991
			AT	126566 T	15-09-1995
			CN	1059014 A , B	26-02-1992
			DE	69112155 D1	21-09-1995
			DE	69112155 T2	04-01-1996
			DK	472020 T3	27-12-1995
			EP	0472020 A1	26-02-1992
			ES	2078396 T3	16-12-1995
			GR	3017789 T3	31-01-1996
			JP	2716606 B2	18-02-1998
			JP	6026441 A	01-02-1994
			MX	9100666 A1	01-04-1992
			NZ	239143 A	23-12-1993